

## あかつき搭載 1 $\mu$ m カメラ IR1 : 現状とこれまでの観測結果

### 1 micro-m camera IR1 onboard AKATSUKI: Current status and results of observations

大月 祥子<sup>1\*</sup>, 岩上 直幹<sup>2</sup>, 佐藤 毅彦<sup>1</sup>

OHTSUKI, Shoko<sup>1\*</sup>, IWAGAMI, Naomoto<sup>2</sup>, SATOH, Takehiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, <sup>2</sup> 東京大学

<sup>1</sup>ISAS/JAXA, <sup>2</sup>University of Tokyo

2010年5月21日に打ち上げられた日本の金星探査機あかつきは、現在2015年の金星再会合を目指し航行を続けている。2010年12月の以降に行なった撮像を基に、1  $\mu$  m カメラ IR1 の現状とこれまで観測結果について報告する。

2011年に実施したIR1による撮像は以下の3種類である。

(1) およそ1300万 km の距離からの金星測光観測

(2) 恒星(いて座)撮像

(3) 近日点通過後カメラ動作確認

金星測光観測からは波長0.90  $\mu$  m における0°60度での位相曲線を導出した。あかつき搭載2  $\mu$  m カメラ IR2 で得られた2.02  $\mu$  m における位相曲線同時解析することで雲層モデルへの制約を得た。

また、恒星撮像・動作確認画像より現在の検出器の状態・問題点等について議論する。

キーワード: 金星探査機あかつき, 近赤外線, 金星大気, 位相曲線, 雲粒子

Keywords: AKATSUKI, near infrared, Venus atmosphere, phase curve, cloud particle

## Venus Express SOIR・地上分光観測結果による金星全球雲モデルの構築

### A model to study the Venus cloud structure based on several Venus observations, wherein SOIR solar occultations on Venus

高木 聖子<sup>1\*</sup>, 岩上 直幹<sup>1</sup>, Arnaud Mahieux<sup>2</sup>, Valerie Wilquet<sup>2</sup>, AnnCarine Vandaele<sup>2</sup>

TAKAGI, Seiko<sup>1\*</sup>, IWAGAMI, Naomoto<sup>1</sup>, Arnaud Mahieux<sup>2</sup>, Valerie Wilquet<sup>2</sup>, AnnCarine Vandaele<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科, <sup>2</sup> ベルギー宇宙科学研究所

<sup>1</sup> Graduate School of science, the Univ. of Tokyo, <sup>2</sup> Belgian Institute for Space Aeronomy

金星は地球とほぼ同じ大きさ、密度を持ち、太陽系形成時には互いに似た惑星として誕生したと考えられているが、その内部環境は90気圧もの二酸化炭素大気や雲頂高度で自転速度の60倍にも達する高速東西風など、地球とは全く異なる様相を見せる。2つの惑星がなぜ異なった大気進化を経たのかを解明するためには、まず現在の金星気象を理解することが必要不可欠である。

金星の気象を特徴づけるものとして、金星全球を覆う厚さ30kmもの硫酸雲の存在が挙げられる。この雲は高度約40-70kmに存在し、上からもや・上・中・下層に区分される。雲パラメータ(光学的厚さ・組成・粒径)の鉛直分布を雲モデルと呼び、雲モデルは過去の降下プローブ(Venera・Pioneer Venusなど)観測結果から考案されている。雲の表面被覆率が100%の金星において、雲モデルは高精度な放射輸送計算をする際に必要不可欠である。現在は雲モデルPollack et al.(1993)が計算で広く仮定されているが、Pollackモデルに関して以下の問題点がある。

1. Pollackモデルは金星加熱率[K/day]の計算値と観測値を合わせるために調整され、もや層の光学的厚さが10に設定された経緯がある。しかし、もや層の光学的厚さは1と測定されており([Crisp et al., 1986][Kawabata et al., 1980])、Pollackモデルの設定は観測によって裏付けされていない。

2. 過去の金星降下プローブは、降下位置によって異なる雲の様相をとらえている。PollackモデルはPioneer Venus Largeプローブの降下位置1点における観測結果から作られ、金星全球の雲を表すものではない。

これらの問題点を解決し得るデータが地上分光観測(ハワイ・マウナケア IRTF 使用)と Venus Express 搭載の紫外・赤外分光計 SPICAV/SOIR によって取得された。本研究では金星低緯度・高緯度についてそれぞれ地上分光観測・SOIR 観測結果を解析し、Pollackモデルの不完全性を改善する現実的な金星全球雲モデルを構築することを目的とする。

キーワード: 金星, 雲, Venus Express, SOIR

Keywords: Venus, cloud, Venus Express, SOIR

## VEX/VIRTIS-H を用いて推定された金星北半球高緯度領域の雲層構造 Venusian cloud structure in the northern high-latitude region estimated from VEX/VIRTIS-H data

黒田 壮大<sup>1\*</sup>, 笠羽 康正<sup>1</sup>, 村田 功<sup>2</sup>, 中川 広務<sup>1</sup>, Pierre Drossart<sup>3</sup>

KURODA, Morihiko<sup>1\*</sup>, KASABA, Yasumasa<sup>1</sup>, MURATA, Isao<sup>2</sup>, NAKAGAWA, Hiromu<sup>1</sup>, Pierre Drossart<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, <sup>2</sup> 東北大学大学院環境科学研究科, <sup>3</sup> LESIA, Observatoire de Paris, Meudon, France

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Tohoku University, Department of Geophysics, <sup>2</sup> Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, <sup>3</sup> LESIA, Observatoire de Paris, Meudon, France

本講演では、金星探査衛星 Venus Express (VEX) の観測による、金星北半球高緯度域の「雲の光学的厚さ」「雲頂温度」「雲頂高度」の緯度分布およびそれらの相関について、ここまでの解析結果を報告する。

金星は、高度 40-70km 付近に主に濃硫酸から成る雲層が存在する。金星探査衛星 Venus EXpress(VEX) に搭載された Venus Monitoring Camera (VMC) と Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer - M channel (VIRTIS-M) による紫外撮像・近赤外低分散分光撮像観測により、南半球極渦の研究がなされつつあり [e.g., Luz et al., 2011]、例えば緯度 75 度以上での雲頂高度の低下が報告されている [Ignatiev et al., 2008]。本研究では、VEX に搭載された VIRTIS - High spectral resolution channel (VIRTIS-H) のデータを用いて、金星北半球の高緯度域での雲層構造の解析を実施した。VIRTIS-H は、視野の関係でこれまで報告が稀な金星北半球の雲層の情報を得ることができる。この特徴を生かして北半球での「雲の光学的厚さ」「雲頂温度」「雲頂高度」の緯度分布およびその相関を調べた。これまでにを行った 2007 年の Orbit-328 までの解析から、以下の結果が導出されている。

(1) 夜面 2.3 $\mu$ m 帯 (雲層下からの熱放射) における nadir 観測データでは、緯度 70 度以上では放射強度レベルが常に 0 に近い。金星大気モデルを用いた放射計算によって、この波長帯における高緯度域雲層の光学的厚さは、定常的に中低緯度域より倍近いことが示された。金星の極域はより「雲量が多い」または「雲物質の特性が異なる」ことが推定される。

(2) 北半球における雲頂温度・高度を導出した。温度は 5 $\mu$ m 帯熱放射を、雲頂高度は昼面 2.2 $\mu$ m 帯 CO<sub>2</sub> 吸収バンドから導出した。雲頂温度は、緯度 75 度付近から極点にかけて上昇していく傾向がみられた。一方、雲頂高度は、緯度 50 度 (69.3  $\pm$  0.5km) に対し緯度 80 度 (極渦存在領域) では 65.4  $\pm$  0.7km と下降することを確認した。これは、Ignatiev et al. (2008) が示す南半球での傾向と一致する。さらに、イベントスタディにおいて、Cold Collar(極渦周囲の低温領域) では、雲頂高度が極渦高温域に対して 1km 程上昇する例を見出した。

(3) 北半球における計 15 軌道の nadir 観測データから、「雲の光学的厚さ」「雲頂温度」「雲頂高度」の平均緯度分布 (分解能: 1 度、緯度 0 度 ~ 90 度) で導出し、それらの相関を調べた。「雲頂温度」と「雲頂高度」には負の相関がみられたが、他の相関はみられない。

本講演では、更なる解析本解析結果を大気循環という観点からの考察を加えて報告する。

キーワード: 金星大気, 極渦, 雲頂高度, 雲頂温度, 雲の光学的厚さ

Keywords: venusian atmosphere, polar vortex, cloud top altitude, cloud top temperature, cloud optical depth

## Venus Express による紫外/赤外画像を用いた金星中高緯度の風速分布の研究 Venusian wind velocity distributions in middle-to-high latitude regions derived from the UV/IR images observed by Venus

佐藤 瑞樹<sup>1</sup>, 村田 功<sup>2\*</sup>, 笠羽 康正<sup>1</sup>, 神山 徹<sup>3</sup>

SATO, Mizuki<sup>1</sup>, MURATA, Isao<sup>2\*</sup>, KASABA, Yasumasa<sup>1</sup>, KOUYAMA, Toru<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大・理・地球物理, <sup>2</sup> 東北大・環境, <sup>3</sup> 東京大・理

<sup>1</sup>Dept. of Geophysics, Tohoku Univ., <sup>2</sup>Environmental Studies, Tohoku Univ., <sup>3</sup>EPS, Univ. of Tokyo

Venus Express (VEX) の Venus Monitoring Camera (VMC) により撮像された紫外域画像を用い、金星南半球高緯度領域の風速分布導出を試みた。その経度分布に注目し、雲頂温度と南北風の分布間に一定の相関があり得ることを見出した。

紫外域において、金星昼面には濃淡模様が存在する。高度約 70km の雲頂高度付近に存在する未知紫外吸収物質を反映したものと考えられるが、この移動から雲頂高度付近の風速ベクトルが導出されてきた。

一方、中赤外域では、輝度から雲頂高度付近の温度が得られる。この観測から、両極域の極渦、すなわち極付近にある polar dipole (高温域) と、それを取り囲む polar collar (低温域) の構造が観測されてきた。前者は波数 2 の楕円状構造を持ち、2-2.5 日周期で回転している。後者は波数 1 の三日月状の構造を持ち、ローカルタイムに対して固定的である。

極渦における温度・風速分布には相関がある可能性が示唆されている。例えば、dipole は大気沈降による断熱圧縮の関与が指摘されており、紫外域の観測からも極渦周縁部で極側に収束する南北風が観測されている [Sanchez-Lavega et al., 2008; Moissl et al., 2009]。

本研究では、VMC による紫外域画像を用いて金星南半球高緯度域の風速分布を導出し、VIRTIS-M で観測される温度分布との相関を 2 次元的に比較することを目的とする。

紫外域の雲追跡は、Kouyama et al. (2009) による相互相関関数を用いた Template matching による雲追跡 (Digital tracking) の手法を用いている。本研究では、速度場導出が難しくこれまで本研究が適用されていなかった高緯度域での雲追跡を実現するため、手法の改良を行なった。中低緯度域で得られた風速は、本手法においても Kouyama et al. (2009) と整合している。

極渦に対する風速場を得るには、極渦に固定された座標系の定義を要する。本研究では中赤外域で見られる dipole に楕円フィッティングを行ない、この長軸を基準にして風速分布を導出した。解析には 5 軌道分のデータを用いた。この結果、東西風については明確な相関が見られないが、南北風については、各軌道ごとに「波数 2」で近似できる経度分布を見出した。これは、風速の流線が dipole 的な楕円形で近似できることを示唆する。

ただし、風速分布における南北風の経度分布と、温度分布における dipole の経度分布の間には位相差が存在した。またこの位相差には一定の関係が見られず、1 日程度の短い時間間隔でも大きな変動が見られた。これは、dipole の経度構造が風速分布によって定常的に形作られているものではないことを示唆する結果であり、dipole が波動現象などの他の要因によって形成されている可能性を示唆する。この理解には、位相差の時間変動の追跡を主とする追加解析が必要である。

キーワード: 金星, 極渦, 風速, 経度分布, Venus Express, Venus Monitoring Camera

Keywords: Venus, Polar vortex, Wind velocity, Longitudinal distribution, Venus Express, Venus Monitoring Camera

## 大気重力波による金星中間圏・熱圏大気の西向き加速

### Westward acceleration of the mesospheric and thermospheric atmosphere in Venus caused by gravity waves

星野直哉<sup>1</sup>, 藤原均<sup>2\*</sup>, 高木征弘<sup>3</sup>, 笠羽康正<sup>1</sup>

HOSHINO, Naoya<sup>1</sup>, FUJIWARA, Hitoshi<sup>2\*</sup>, TAKAGI, Masahiro<sup>3</sup>, KASABA, Yasumasa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学・理・地球物理, <sup>2</sup> 成蹊大・理工, <sup>3</sup> 東大・理・地球惑星科学

<sup>1</sup>Dep. Geophysics, Tohoku Univ., <sup>2</sup>Fac. Sci. Tech., Seikei Univ., <sup>3</sup>Dep. Earth and Planetary Science, Univ. Tokyo

本講演は、数値実験から大気重力波が与える金星中間圏・熱圏風速場への影響を数値実験により示すものである。重力波によって高度約90km以上で高速東西風が形成され、また高度110kmにおいて西向き加速は主に夜側で生じ、昼側では高速東西風の有無にかかわらず、昼夜間対流が卓越することを初めて示した。

金星中間圏・熱圏(高度100km以上)における大気大循環の理解にとって、雲層起源の大気重力波による運動量輸送効果は不可欠な要素である(e.g., Bougher et al. [2006])。Zhang et al. [1996]は重力波パラメタリゼーションを用いたシミュレーションを行い、高度約140km以上において、重力波運動量輸送効果により約15-30m/sの西向きの高速東西風が駆動されることを示唆した。

本研究は、重力波同士の相互作用や分子粘性による重力波減衰などの物理過程を考慮してこの問題の核心に迫ることを目標とした。Medvedev and Klaassen [2000]により開発された重力波パラメタリゼーション(以下Medvedevスキーム)を我々が開発した金星中間圏・熱圏大気大循環モデル(80-180km)へ導入することで、重力波の波動-波動相互作用や分子粘性による重力波減衰などの物理過程を考慮しうる数値実験を実現した。

Medvedevスキームのパラメータは、モデル下端における重力波の「典型的水平波長」と「鉛直波長スペクトル」である。本研究では、Kasprzak et al. [1988]より、重力波の水平波長を500kmとした。また、モデル下端の重力波スペクトルとしては、地球大気中の重力波に一般的に見られるDesaubiesスペクトルを仮定した。モデル下端風速分布としては、スーパーローテーションを模擬し、赤道風速40m/sの剛体回転を仮定した。

計算の結果、重力波による西向き運動量の上方輸送により、高度約90km以上で高速東西風が形成された。風速は、高度約90-125kmにおいて高度とともに増大し、高度約125kmで最大約120m/sとなった。より上層では高度140kmにかけて高度と共に減少し、高度140km以上では約60m/sで一定となった。東/西向き伝播する大気重力波強度の高度変化により、この高速東西風強度の高度分布は「背景風による東向き伝播重力波のフィルタリングの結果」と示唆される。

また、高度約110kmの風速分布の解析より、高速東西風に寄与する大気の西向き加速は主に夜側で生じ、昼側では高速東西風の有無にかかわらず、昼夜間対流が卓越することが、初めて示唆された。

(本結果は、J. Geophys. Res. に投稿予定である。)

キーワード: 金星, 大気大循環モデル, 中間圏・熱圏, 風速場, 重力波

Keywords: Venus, GCM, mesosphere and thermosphere, wind velocity field, gravity wave

## 2012年日面通過時の太陽観測衛星「ひので」による金星超高層大気の光学観測計画 X-ray observation from Venus upper atmosphere by HINODE

金尾 美穂<sup>1\*</sup>, 山崎 敦<sup>1</sup>, 神山 徹<sup>1</sup>, 中村 正人<sup>1</sup>

KANAO, Miho<sup>1\*</sup>, YAMAZAKI, Atsushi<sup>1</sup>, KOUYAMA, Toru<sup>1</sup>, NAKAMURA, Masato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宇宙科学研究所

<sup>1</sup> ISAS/JAXA

大気観測カメラを搭載した日本初の金星探査機「あかつき」が打ち上げられ、周回軌道からの観測に期待がよせられている。また、Venus Express 衛星の観測や計算器実験によっても金星大気や超高層大気の研究が発展を遂げている。2012年6月5日の金星日面通過時に「ひので」衛星に搭載の光学観測機器による金星超高層大気の観測を計画している。

金星の大気は二酸化炭素を主成分とし高度 120km 以上の外圏領域には電離大気とともにコロナと呼ばれる中性大気が存在する。コロナは低高度で生成する熱的な粒子と、非熱的な C、O、H 等の粒子から成る。非熱的酸素は主に外圏底辺付近の酸素分子イオンの解離再結合や酸素分子の光解離によって生じる。非熱的水素は非熱的酸素とプロトンの電荷交換反応や光化学反応により生じる。コロナは高度 6000km 以上と惑星半径に比して広範囲に広がっている。非熱的水素は速度をもったまま、酸素コロナはピックアップ、スパッタリング等により惑星間空間へと散逸する。大気散逸量のうちコロナは多くの部分を占めるとの計算器実験による予測 (Lammer et al., 2006) がある。

中性粒子コロナ密度の空間分布や時間変化の観測は散逸過程ごとの大気流出率について多くの情報をもたらす。散逸量や散逸過程の正確な把握は惑星大気進化の理解に不可欠である。中性粒子の密度は過去に Pioneer Venus Orbiter や Venus Express 搭載の中性粒子観測器などで計測された。しかし、観測点一点での中性粒子密度のデータから金星大気散逸量全体の見積もりには様々な仮定が必要であり、このため金星全体からの散逸量には決着がつかない。全球的なコロナの撮像観測では密度の二次元空間分布を得ることにより大気散逸量をより直接的に計算することが可能になる。

太陽風中の高エネルギーの多価重イオンは惑星大気・コロナの中性粒子と電荷交換反応し発光する。放射光の波長はイオン種に固有で電子軌道の遷移によって決まり、極端紫外光から X 線の領域にある。この発光分布を太陽観測衛星である「ひので」衛星で観測することにより、コロナの密度分布を推定する。この電荷交換反応によるコロナの発光の輝線を明らかにし発光量を見積もる。夜側での電荷交換反応による光量からコロナの全量を見積り、ピックアップとスパッタリングの源となるコロナ量や散逸する非熱的なコロナ量の把握につなげる。

本研究では 1. モデル化された太陽風の密度速度分布、2. VIRA モデルのコロナ密度分布、3. 衝突断面積、を用いて発光量を計算した。例えば  $C^{5+}$  と金星コロナとの電荷交換による 3.56nm の光の光量は約  $5.17 \times 10^3 W$  で、これは  $9.21 \times 10^{-7}$  photons/cm<sup>2</sup>/sec に相当する。

見積もられた光量を基に、より正確に金星超高層大気環境と発光量を把握するための考察を行う。発光量に大きな影響があるとされる 120km から 150km の低高度の大気の密度を考慮した。また、X 線領域に発光のある蛍光散乱光の強度と見積もられた電荷交換反応による発光量を比較し、昼面の蛍光散乱光の影響を考察した。さらに太陽、地球、金星の位置関係による観測光量の変化についても考察する。本報告ではこれらの結果を纏め、「ひので」衛星に搭載された光学観測機器による金星超高層大気発光の検出についての検討結果、及び観測計画の概要を報告する。

キーワード: 金星, 超高層大気, 撮像観測, ひので

Keywords: Venus, upper atmosphere, HINODE

## 大気大循環モデルを用いた太陽フレアによる極端紫外線増大に対する火星熱圏の応答

### Response of the Martian thermosphere to the EUV flux enhancement during solar flare events with a GCM

市川 義則<sup>1</sup>, 藤原 均<sup>2</sup>, 笠羽 康正<sup>1\*</sup>, 寺田 直樹<sup>1</sup>, 寺田 香織<sup>1</sup>, 星野 直哉<sup>1</sup>

ICHIKAWA, Yoshinori<sup>1</sup>, FUJIWARA, Hitoshi<sup>2</sup>, KASABA, Yasumasa<sup>1\*</sup>, TERADA, Naoki<sup>1</sup>, TERADA, Kaori<sup>1</sup>, HOSHINO, Naoya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学 惑星大気物理学分野, <sup>2</sup> 成蹊大学 理工学部

<sup>1</sup>Dept. Geophys. Tohoku Univ., <sup>2</sup>Faculty of Science and Technology, Seikei University

惑星超高層大気は外気圏と惑星の下層大気境界領域に位置し、太陽放射や太陽風との相互作用による大気流出が起きている [Vaille et al., 2009]。火星超高層大気においては、シミュレーション、観測結果がともに多く存在し、また、大気散逸は次期火星探査ミッション計画における重要なテーマとなっている。しかし、日本ではこれまでに火星超高層モデルは存在しなかった。そのため、火星の超高層大気モデルを開発し、大気散逸に結びつく物理機構を解明する意義がある。

現在の太陽活動状態では、火星における大気散逸過程は熱圏・電離圏で生成される O<sub>2</sub><sup>+</sup> の解離再結合が主要なプロセスであると認識されており、それによって生成される非熱的酸素 (O\*) が外気圏でコロナを形成しつつ散逸していると考えられている [Vaille et al., 2009]。そのため、O\* の散逸量を正確に見積もるためには外気圏における O\* の空間分布だけではなく、熱圏・電離圏における O<sub>2</sub><sup>+</sup> の振舞いに対する理解も必要とされる。これまでに、太陽活動極小期・極大期変動による太陽放射フラックス変動に対する熱圏・電離圏における温度、風速、組成比が大きく増大することが確かめられている [Bougher et al., 1991]。一方、近年の Mars Global Surveyor (MGS) の観測により、太陽フレア時によって火星電離圏が激しく変動する様子が示された [Mendillo et al., 2006]。これより、火星熱圏においても太陽 X 線・EUV フラックスの短時間変動によって温度や組成が大きく変動し得ることが示唆される。また、先行研究では、太陽フラックスを極小期から極大期における値にまで瞬時に上げた時の、熱圏の温度の時間応答を調べた研究がなされている [Bougher et al., 1999]。この研究では、惑星の熱圏において主要な冷却過程が異なることによって、熱圏の時間変動に変化が現れることが示されている。これより、太陽フレアによる太陽フラックスの短時間変動に対する熱圏の応答は、惑星によって異なる時間変動を示す可能性がある。さらに、X 線・EUV フラックスが現在よりも大きかった過去の太陽活動状態においては、火星熱圏の温度は現在よりもはるかに大きかったと示唆されている [Vaille et al., 2010]。過去の太陽フレアは現在よりも規模が大きかったとされているため、異なる温度場の条件下においては、太陽フレアによる変動も大きく変わることが予想される。

本研究では、火星熱圏大気大循環モデルを開発し、太陽フレアによる太陽 X 線・EUV 強度の短時間変動に対する火星熱圏の応答を調べた。その結果、以下のことが分かった。

1. 本研究で再現した規模の太陽フレア (X17.2) による火星熱圏の温度は、太陽直下点での exobase において定常状態 (高度 189 km、温度: 205 K) からそれぞれ 7% (13 km) と 20% (42 K) 増大した。これは、本研究で再現した太陽活動極小期・極大期変動に比べて約 50% の変動率であった。

2. 火星と金星のフレア応答を比較すると、火星熱圏の exobase の温度はフレア発生から 2 時間後に最大値となり、増大率は 20% (42 K) であった。また、最大時から元の温度に戻るまでの時間は 9 時間であった。一方、金星熱圏の exobase の温度はフレア発生から 1 時間 15 分後に最大値となり、増大率は 31% (63 K) であった。また、最大時から元の温度に戻るまでの時間は 3 時間であり、金星の温度は火星に比べて変動率は大きい、収束する時間は早いことが示された。これは、冷却率の変動が火星と金星とで大きく異なるためである。

3. X 線・EUV/UV フラックスを各波長域において 2 倍から 20 倍増大した太陽活動度での火星熱圏を再現し、現在と同じ規模の太陽フレア (X17.2) による熱圏の応答を調べた。その結果、exobase における温度は 59% (205 K) 増大し、現在のフレア応答に比べて約 3 倍大きい変動率が示された。

キーワード: 火星, 熱圏, 太陽フレア, 金星

Keywords: Mars, thermosphere, solar flare, Venus

## 火星大気散逸観測ミッションの検討報告 Examination of Orbiters for Martian Atmospheric Escape Study

松岡 彩子<sup>1\*</sup>, 阿部 琢美<sup>1</sup>, 石坂 圭吾<sup>2</sup>, 熊本 篤志<sup>3</sup>, 栗原 純一<sup>4</sup>, 関 華奈子<sup>5</sup>, 田口 真<sup>6</sup>, 寺田 直樹<sup>7</sup>, Futaana Yoshifumi<sup>8</sup>, 八木谷 聡<sup>9</sup>, 山崎 敦<sup>1</sup>, 横田 勝一郎<sup>1</sup>, 坂野井 健<sup>3</sup>, 中川 広務<sup>7</sup>, 火星大気散逸探査検討 WG<sup>1</sup>  
MATSUOKA, Ayako<sup>1\*</sup>, ABE, Takumi<sup>1</sup>, ISHISAKA, Keigo<sup>2</sup>, KUMAMOTO, Atsushi<sup>3</sup>, KURIHARA, Junichi<sup>4</sup>, SEKI, Kanako<sup>5</sup>, TAGUCHI, Makoto<sup>6</sup>, TERADA, Naoki<sup>7</sup>, FUTAANA, Yoshifumi<sup>8</sup>, YAGITANI, Satoshi<sup>9</sup>, YAMAZAKI, Atsushi<sup>1</sup>, YOKOTA, Shoichiro<sup>1</sup>, SAKANOI, Takeshi<sup>3</sup>, NAKAGAWA, Hiromu<sup>7</sup>, Martian Atmospheric Escape Study Group<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, <sup>2</sup> 富山県立大学工学部, <sup>3</sup> 東北大学理学部惑星プラズマ大気研究センタ, <sup>4</sup> 北海道大学理学部, <sup>5</sup> 名古屋大学 STE 研, <sup>6</sup> 立教大学理学部, <sup>7</sup> 東北大学理学部地物, <sup>8</sup> IRF スウェーデン, <sup>9</sup> 金沢大学工学部  
<sup>1</sup> ISAS/JAXA, <sup>2</sup> Toyama Pref. Univ., <sup>3</sup> Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku, <sup>4</sup> CosmoSciences, Hokkaido Univ., <sup>5</sup> STEL, Nagoya Univ., <sup>6</sup> Rikkyo Univ., <sup>7</sup> Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku, <sup>8</sup> IRF, Sweden, <sup>9</sup> Kanazawa Univ.

火星の大気の変遷には、太陽風との相互作用が大きく影響したと考えられているが、今現在の火星においてさえ、大気と太陽風との相互作用の物理プロセスは明らかになっていない。

地球と異なり、現在の火星は惑星固有の磁場を持たない。その結果、太陽風は低い高度にまで達し、火星の大気と直接相互作用して、火星大気の一部は散逸される。この過程は、長い間には火星大気の組成を変化させるまでの作用を及ぼし、火星大気や、ひいては地上・地下の二酸化炭素（ドライアイス）や水・氷の変遷に大きく影響した可能性があると考えられている。大気散逸の様子は、太陽活動や太陽との距離によって影響を受けるため、大気の長期的な変遷を考えるためには、様々な太陽の状態について相互作用の働きを知らなければならない。

我々は、2011年12月にJAXA宇宙科学研究所理学委員会において火星大気散逸探査検討ワーキンググループを発足させた。このワーキンググループは、大気散逸に焦点を当て、2つのオービターによって散逸の全体像とプロセスを同時に観測することを検討している。1つのオービター（大気散逸その場観測衛星）によって、大気散逸が起きているその場のプラズマや中性粒子の観測を観測を行い、もう1つのオービター（リモート観測衛星）によって、散逸する大気等から発せられる光をリモートで撮像し、また同時に太陽風をモニターするというものである。大気散逸の物理プロセス、グローバルな全体像、物理プロセスを決める太陽風のモニターを同時に行うことは、複数衛星によって初めて可能となる、真に大気散逸の全容解明に迫る観測である。

現在我々は、2024年頃の太陽活動極大期における火星観測を行う大気散逸観測オービターの実現に向けて、サイエンス・観測機器・衛星の検討を行っている。まず海外の類似ミッションに対する優位性や差別化を意識しながら、サイエンス目標の定量的・具体的な策定を行う。更に、現在の機器技術でサイエンス目標を達成できるのか、どのような技術開発が必要なのか、今後の開発計画を明らかにする。更に、この計画を実現させるための衛星構成や、軌道計画を検討する。

本講演では、これらの課題について検討を行った途中経過を報告する。

キーワード: 火星, 大気散逸, 惑星探査, 太陽風

Keywords: Mars, Atmospheric escape, Planetary exploration, Solar wind



## サブミリ波サウンダを用いた火星周回軌道上からの火星風速高度分布観測に関する基礎検討

### Feasibility study of Mars' wind observation from a satellite orbit using a sub millimeter wave sounder

小林 智範<sup>1\*</sup>

KOBAYASHI, Tomonori<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 大阪府立大学大学院 工学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Engineering, OPU

火星大気の循環を考える際の重要なパラメータの一つとして、火星の風速場(大気循環)があげられる。そのため、火星気象を理解するうえで火星風速を観測することは必要不可欠である。火星周回衛星軌道上からサブミリ波サウンダを用いて火星大気分子が放射する電波のドップラーシフトを観測することにより、中、高層における火星風速を高い空間・鉛直分解能で推定することができる。本研究では火星観測の空間・時間分解能について検討を行った。

#### 1. 研究背景

火星の風速場は火星におけるダストや水蒸気の輸送・分布と密接に関わりあっており、火星の風速を精度よく観測することは、火星大気モデルの改善、ひいては火星惑星環境の理解に必要不可欠である。

火星の風速を測る手法として、

1. 気温分布を測り地衝風近似から風速を出す [e.g., McCleese et al., 2010]

2. ダストや雲、大気微量成分をトレーサーとして、それらの追跡軌跡から風速を出す [e.g., Choi and Dundas, 2011]

3. 大気スペクトルのドップラーシフトを測定し、視線方向の風速を出す [e.g., Moreno et al. 2007].

等の方法が考えられる。

しかし1, 2の手法では風速を間接的にしか測ることができず、観測結果が必ずしも実際の風速を表しているとは限らない。またこれらの手法では観測が難しい場所として、地衝風近似が崩れる緯度帯やトレーサーの分布量が乏しい領域があげられる。3の手法では視線方向の速度しか測ることができないという欠点はあるが、全火星的な風速を直接観測できるのはこの手法だけである。

ドップラーシフトを用いた観測において、可視光、近赤外線に比べ波長の長いサブミリ波を用いて受動観測することにより、1. 太陽光源を必要とせず昼夜問わず観測が可能である、2. 火星大気中ダストによる干渉を受けにくい、3. ミリ波と比較して速度分解能の高い観測が実現できる等のアドバンテージが得られる。これらの利点により、火星全球規模での昼夜を問わない風速観測が可能となる。

周回軌道からのサブミリ波サウンダによる風速観測の稼働実績として、国際宇宙ステーション日本実験棟搭載のSMILES(超伝導サブミリ波リム放射サウンダ; Superconducting Submillimeter-Wave Limb Emission Sounder)を用いて実際に地球成層圏・中間圏風速の観測に成功している。

#### 2. 風速の観測方法

火星大気の観測には火星大気の微量成分であるCO(一酸化炭素)を用いる。COを用いるのは、火星地表面から高高度にわたって比較的一様な存在量で分布していること、サブミリ波領域に吸収線を持つことが理由である。

サブミリ波サウンダで受信される電波強度には、観測視線方向に存在する各位置のCOの存在量や気温に加え、COの視線方向速度といった物理量の情報が含まれている。観測される放射スペクトルを放射伝達方程式と呼ばれる方程式を用いて反転解析することによりこれらの物理量を推定(リトリーバル)することができる。

風速の観測精度を向上させるにはいくつかの方法があるが、今回はいくつかの接線高度、同位体を観測することにより、観測精度を向上させる手法について検討を行った。

ある一つの接線高度について観測するだけでは、観測した高度付近の風速しか精度良く観測することはできないが、様々な接線高度についての観測を行うことにより、低高度から高高度までの風速を感度良く測ることが可能となる。また観測気体であるCOにはいくつかの同位体が存在するが、光学的厚さの違いによって同位体ごとに高感度が得られる火星高度領域は異なっている。そのため複数のCO同位体吸収線を同時に観測することにより、広い高度領域にわたって高感度の観測が可能となる。

#### 3. 時間・空間分解能

観測雑音を抑えるために長い時間観測しようとするほど、観測結果は時間的、空間的に平均化されてしまい空間・時間分解能が悪くなってしまふ。このような関係があるため、得たい風速のスケールに応じて観測時間を調整する必要がある。

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PCG33-P09

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 15:30-17:00

長楕円の衛星軌道を仮定した場合、近火点付近では観測地点までの距離の短さによって鉛直分解能よいが、遠火点付近では逆に鉛直分解能が悪くなってしまふ。ただしケプラーの第二法則より遠火点付近の方が観測できる時間が長くなるため、1周期あたりの観測可能時間は遠火点付近の方が長くなる。本研究ではいくつかの衛星軌道を想定し、それぞれの衛星軌道上で得られる風速感度の検討も行った。

キーワード: サブミリ波, 火星, 風速, ドップラー効果, 放射伝達

Keywords: submillimeter wave, doppler shift, mars, wind

## SPARTによる惑星中層大気モニタリング計画の進捗 Progress of the SPART project to monitor planetary middle atmospheres

森部 那由多<sup>1\*</sup>, 前澤 裕之<sup>2</sup>, 近藤 秀作<sup>3</sup>

MORIBE, Nayuta<sup>1\*</sup>, MAEZAWA, Hiroyuki<sup>2</sup>, KONDO, Syusaku<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 大阪府立大学理学部, <sup>3</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Nagoya Univ., <sup>2</sup>School of Science, Osaka Prefecture Univ., <sup>3</sup>Solar-Terrestrial Environment Lab., Nagoya Univ.

Investigating the abundance and time variation of minor constituents and their isotopes provide us an important information about the dynamical and chemical balances and evolutionary processes of planetary atmospheres. To study how activities of the Sun, a typical G-type star in our galaxy, influence the physical conditions and (photo) chemical reaction network of the atmospheres of Venus, Mars and gas-giant planets, we have promoted regular and long-term observations of these planetary middle atmospheres at 90 ~ 345 GHz bands developing a 10-m ground-based Solar Planetary Atmosphere Research Telescope (SPART).

In November 2011 we succeeded first detection toward Mars and mapping observation toward Orion Molecular Cloud 1 with a spectral line for rotational transition of carbon monoxide (J=1-0: 115 GHz) by using the SPART. Now we are just starting to carry out test regular observations. In this talk the current status of this project will be presented.

キーワード: ミリ波, サブミリ波, 惑星, 中層大気, 太陽系, 地上望遠鏡

Keywords: millimeter wave, submillimeter wave, planet, middle atmosphere, solar system, ground-based telescope

## 水星ナトリウムテイル分布と大気生成過程

### Mercury's sodium tail distribution and the source processes of the exosphere

布施川 綾花<sup>1\*</sup>, 亀田 真吾<sup>1</sup>, 大六 隼人<sup>1</sup>, 鍵谷 将人<sup>2</sup>, 岡野 章一<sup>2</sup>

FUSEGAWA, Ayaka<sup>1\*</sup>, KAMEDA, Shingo<sup>1</sup>, DAIROKU, Hayato<sup>1</sup>, KAGITANI, Masato<sup>2</sup>, OKANO, Shoichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 立教大学, <sup>2</sup> 東北大学

<sup>1</sup>Rikkyo University, <sup>2</sup>Tohoku University

水星は非常に希薄な大気を持つ。過去にはNASAの水星探査機 Mariner 10 と MESSENGER のフライバイによる観測、及び地上観測が行われてきた。また、2011年3月より、MESSENGERによる世界初の水星周回軌道上での観測が行われている。これらの観測により、大気中のH、He、O、Na、Mg、K、Caが検出されている。水星大気の生成過程としては、太陽光による光脱離、太陽風イオンによるスパッタリング、隕石の衝突による気化などが考えられているが、主な生成過程は明らかにされていない。水星表面から放出された原子のうち、ナトリウム原子は太陽光のエネルギーを受けて励起し、すぐに光を放出して基底状態に戻る。この共鳴散乱による発光が、ナトリウム大気光である。ナトリウム原子による発光は、他の原子よりも発光強度が高く、地上観測にも適している。また、水星ナトリウム大気は、太陽放射圧を受けて反太陽方向に散逸し、彗星の尾のような形状を示すことが確認されている。これは、ナトリウムテイルと呼ばれている。過去のナトリウム大気光の観測からは、大気の分布は時間変動することが明らかにされている。本研究では、水星ナトリウム大気光の地上観測を行い、観測結果をもとにナトリウムテイル分布を求め、水星大気の生成過程について考察を行うことを目的とする。

私たちは2011年4月より、ハワイ・ハレアカラ観測所の望遠鏡を使用し、水星ナトリウム大気光の観測を行っている。観測には口径40cmのシュミット・カセグレン式望遠鏡と高分散分光器を用い、CCDカメラで撮像する。なお、観測はインターネットを通じて、日本から遠隔操作で行った。今回の観測では、視直径約5.0~10.4秒角の水星に対し、幅2.5秒角の分光器のスリットを水星の太陽-反太陽方向に平行に当てた。スリットの位置は1枚撮像することに変更し、大気分布を撮像する。なお、1枚につき露出時間50秒で、約30分かけて大気全体を撮像した。

解析には、2011年4月27日~5月30日、及び6月24日~8月5日の観測で得られたデータを用いた。観測時間は、前半の期間では水星出から日の出前まで、後半の期間は日没後から水星没までである。まず、水星の中心から南北にそれぞれ等距離にスリットを当てたときの撮像結果を用い、ナトリウム大気光の強度分布を得た。そのうち、5月18日、6月24日、7月1日の3日分の結果を比較した。この結果、分布に大きく二つの異なる点が見られた。一つ目は、水星中心付近での強度が変動していることである。二つ目は、6月24日の水星の北側における強度分布のみ、中心付近に強度が見られないことである。

水星中心付近において、大気光の強度が南北で異なる理由を考察する。水星大気の生成過程の一つとして考えられている太陽風イオンスパッタリングは、太陽風磁場から水星表面に太陽風粒子が流れ込むことにより起こる現象である。したがって、大気光の強度変化には、太陽風磁場の変動が影響していると考えられる。具体的には、太陽風磁場が北向きと南向きの場合では、それぞれ太陽風磁場と水星磁場との磁気リコネクションの仕方が異なる。これは、太陽風粒子の水星表面への流れ込みやすさに影響を及ぼすと考えられる。この予測を裏付けるために、水星周回軌道上で観測中のMESSENGERによって観測された、太陽風磁場のデータと比較を行い、大気光強度分布と太陽風磁場の変動との関係を調べた。

キーワード: 水星, ナトリウム, 地上観測

Keywords: Mercury, Sodium, Ground-based observation

## 太陽風とミニ磁気圏の相互作用 Interaction between solar wind and mini-magnetosphere

中村 雅夫<sup>1\*</sup>  
NAKAMURA, Masao<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 大阪府立大学  
<sup>1</sup>Osaka Prefecture University

Interaction between the solar wind and the mini-magnetosphere of dipolar magnetized objects is investigated by a three-dimensional hybrid simulation, which treats the ions as kinetic super particles via particle-in-cell method and the electrons as a massless fluid. The hybrid simulation is suitable for the study of the mini-magnetosphere which scale is the order of the ion Larmor radius of the solar wind ions at the magnetopause boundary, because the ion kinetic effects are important for its structure. In the northward interplanetary magnetic field (IMF) condition, the shape of the mini-magnetosphere is similar to a down-sized geomagnetosphere. However cusp reconnection twists the field lines over of the cusp region due to the Hall effects. In the southward IMF condition, patchy reconnection is generated in the dayside magnetopause boundary and generates plasmoids or Flux Transfer Events as large as a quarter of the magnetosphere. We will discuss the boundary structures of the mini-magnetosphere.

キーワード: 太陽風ミニ磁気圏相互作用, 3次元ハイブリッドシミュレーション  
Keywords: Interaction between solar wind and mini-magnetosphere, 3D hybrid simulation

## エンケラドス トーラス OI 630nm 発光のプロセス

### Estimation of OI 630nm emission from Enceladus torus by various process

兒玉 晋洋<sup>1\*</sup>, 鍵谷 将人<sup>1</sup>, 岡野 章一<sup>1</sup>

KODAMA, Kunihiro<sup>1\*</sup>, KAGITANI, Masato<sup>1</sup>, OKANO, Shoichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大・理・地球物理

<sup>1</sup>Geophys. Sci., Tohoku Univ.

It has been known that there are H<sub>2</sub>O molecules and their dissociative products. Cassini mission discovered plume on Saturn's icy moon, Enceladus. And this small moon supplies molecules and ice grains to the Saturn's magnetosphere. This materials distribute like a torus, so called enceladus torus. If we can monitor distribution and time variation of the Enceladus torus continuously, we can get more clear understanding about Saturn's magnetosphere and its variability. In order to accomplish remote-sensing of the Enceladus for a long period, we made ground-based observation of OI 630nm emission of the Enceladus torus at Haleakala observatory.

We successfully detected the line emission with 1200 minutes total exposure time by ground-based observation carried out in Mar. 2011. In order to derive physical information, we must clear what process cause this emission. We had assumed that main process for this emission is electron impact excitation. But other process is also existing, photo dissociation of H<sub>2</sub>O and OH.

In this presentation, I will report the contribution of non electron impact excitation process.

キーワード: 土星, 中性, 地上観測, エンケラドス

Keywords: Saturn, Enceladus, ground-based observation, emission, neutral

## カッシーニ RPWS によるエンセラダストーラスの電子密度観測 Electron density observations from Cassini RPWS in the Enceladus torus

小田中 絵菜<sup>1\*</sup>, 岡野 章一<sup>1</sup>, 小原 隆博<sup>1</sup>, 諸岡 倫子<sup>2</sup>

ODANAKA, Ena<sup>1\*</sup>, OKANO Shoichi<sup>1</sup>, OBARA Takahiro<sup>1</sup>, MOROOKA Michiko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大・理・惑星プラズマ大気, <sup>2</sup>Swedish Institute of Space Physics

<sup>1</sup>Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ., <sup>2</sup>Swedish Institute of Space Physics

One of Cassini's most exciting results is a detection of a plume which expels water vapor and ice grains from south pole of the moon Enceladus [Dougherty et al., 2006; Spahn et al., 2006; Porco et al., 2006; Waite et al., 2006]. This water creates an extended torus around Saturn. A large amount of gas is ionized within the plume and becomes the major source of plasma for E ring and Saturn's magnetosphere. The inner magnetosphere consists of a dense and cold plasma in the shape of a disk [Persoon et al., 2005]. Recently, observations from Cassini Radio Plasma Wave Science (RPWS) revealed the presence of dusty plasma and indicate the interaction between plasma disc and dusty plasma E ring [Morooka et al., 2011]. However, these observations were only near Enceladus. We investigate the plasma distribution on Enceladus orbit. We use Cassini RPWS data and analyze the electron densities in the Enceladus torus, and plan to analyze the azimuthal distribution of Enceladus.

## 電波スペクトルから得られる土星のオーロラ加速領域の過渡的時間発展の特徴 Characteristics of the transient evolution of the auroral acceleration region of Saturn derived from radio spectra

丸野 大地<sup>1\*</sup>, 笠羽 康正<sup>1</sup>, 木村 智樹<sup>2</sup>, 森岡 昭<sup>1</sup>, CECCONI, Baptiste<sup>3</sup>

MARUNO, Daichi<sup>1\*</sup>, KASABA, Yasumasa<sup>1</sup>, KIMURA, Tomoki<sup>2</sup>, MORIOKA, Akira<sup>1</sup>, CECCONI, Baptiste<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 宇宙科学研究所, <sup>3</sup> パリ天文台

<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>ISAS, JAXA, <sup>3</sup>LESIA, Observatoire de Paris

We show the preliminary result for the characteristics of the altitude profile variation seen in the lower- frequency extensions of Saturn kilometric radiation (SKR) associated with substorm-like events.

SKR is an intense radio emission with a peak frequency between 100 and 400 kHz. It is thought to be emitted from energized electrons accelerated along auroral field lines via the Cyclotron Maser Instability (CMI) [Wu and Lee, 1979]. Compared with Earth and Jupiter, SKR shows several unique characteristics such as the modulation at or close to the planetary rotation period [Desch and Kaiser, 1981], long-term variation of modulation period [Galopeau and Lecacheux, 2000], North - South asymmetry of modulation period [Gurnett et al., 2009].

During the high activity of SKR, It is commonly seen that SKR expands toward lower frequency. It can be interpreted as an expansion of the auroral acceleration region to higher altitude with weaker magnetic field strength because SKR is emitted at approximately local electron cyclotron frequency. Similar characteristics have been known in the terrestrial auroral kilometric radiation (AKR) for a long time. For example, using this characteristic in AKR frequency variations, Morioka et al. [2010] derived the two-step evolution model of the auroral acceleration region during substorms. Our motivations are to adopt similar analysis to Saturn and to compare auroral field line accelerations between two planets.

In a previous study, Jackman et al. [2009] reported the general relationship between the lower-frequency extensions of SKR and substorm-like events seen as plasmoids in the magnetotail. We focus on short variations of such phenomena, from several minutes to hours. We use SKR spectra data observed from Cassini/RPWS high frequency receiver (HFR). Its high time resolution, approx. 15 sec, is enough to show that the time scale of lower-frequency extension of SKR, several hours, longer than that of AKR. In this case, we should consider not only the visibility effect (i.e., beaming at the source and propagation along the light-path from the source) but also the unique enhancement due to the rotation of SKR sources. In order to reduce the former effect, we use the data when Cassini locates specific position (in this preliminary study, radial range from 10 to 100 Rs, latitudinal range from -5 to +5 degrees, SKR phase range from -45 to +45 degrees). Based on this analysis, we now try to grasp (1) the relationship of maximum/minimum/central frequency of SKR versus its total flux (as a proxy effect from the amount of field-aligned current), and (2) the relation of maximum/minimum/central frequency of SKR versus specific SKR phase (as a proxy effect from the rotational enhancement). These characteristics will be used for event studies of short-term evolution of auroral acceleration region during substorm-like events.

キーワード: 土星, SKR, Cassini/RPWS

Keywords: Saturn, SKR, Cassini/RPWS



## イオテイルオーロラにおける電流 - 電圧関係に関するシミュレーション研究 Simulation study of the current-voltage relationship of the Io tail aurora

松田 和也<sup>1\*</sup>, 寺田 直樹<sup>1</sup>, 加藤 雄人<sup>1</sup>, 三澤 浩昭<sup>1</sup>

MATSUDA, Kazuya<sup>1\*</sup>, TERADA, Naoki<sup>1</sup>, KATOH, Yuto<sup>1</sup>, MISAWA, Hiroaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

<sup>1</sup>Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

Subcorotation of Iogenic plasma in the Io plasma torus has been understood as electric drift by a perpendicular electric field with respect to the Jovian magnetic field. It has been considered that a part of the radially integrated electric field would be imposed along the magnetic field lines and would cause the Io's trailing tail aurora. Observations have been shown that the Io tail aurora extends for approximately 100 degrees downstream in longitude from the Io's magnetic footprint. It remains unresolved why the precipitating electron energy corresponding to the voltage is constant with longitude despite the decreasing parallel current density. The purpose of this study is to clarify how the current-voltage relationship of the Io tail aurora realizes.

We applied a semi-discrete central scheme to extended multi-magneto-fluid equations which include the electron convection term and investigated the relationship between a parallel current density and voltages of transition layers in the Io-Jupiter system. If the ionospheric proton density decreases at the same rate as the parallel current density, the timescale on which the high-altitude transition layer disappears is consistent with the longitudinal extent of the Io tail aurora. The voltages of the high- and low-altitude transition layers remain constant until the auroral cavity disappears, as expected from observations. These results suggest that the origin of the current-voltage relationship of the Io tail aurora is the same decrease rate of the ionospheric proton density as the parallel current density.

## 木星磁気圏における substorm-like event の発生頻度とプラズマ密度との関係 Relationship between the occurrence frequency of Jovian substorm-like event and plasma density in the magnetosphere

水口 岳宏<sup>1\*</sup>, 三澤 浩昭<sup>1</sup>, 土屋 史紀<sup>1</sup>, 小原 隆博<sup>1</sup>, 笠原 慧<sup>2</sup>

MIZUGUCHI, Takahiro<sup>1\*</sup>, MISAWA, Hiroaki<sup>1</sup>, TSUCHIYA, Fuminori<sup>1</sup>, OBARA, Takahiro<sup>1</sup>, KASAHARA, Satoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学惑星プラズマ・大気研究センター, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

<sup>1</sup>PPARC, Tohoku University, <sup>2</sup>ISAS/JAXA

木星は強力な固有磁場を持ち、また、衛星イオの火山活動を起源とするプラズマの供給源を内部に持つ。更に、約 10 時間という速い自転周期で磁場に捕らわれたプラズマを駆動するため、活動的で巨大な磁気圏が形成されている。

Galileo 探査機の観測により、磁気圏尾部において高エネルギー粒子の動径方向への flow burst や、リコネクションを示唆する磁場の南北成分の変化が準周期的に観測され、地球の substorm に似た現象として substorm-like event と呼ばれるようになった。その駆動メカニズムとしては、速い自転による共回転とイオ起源の重イオン（硫黄、酸素）による遠心力によって磁気圏尾部が引き伸ばされ、リコネクションの発生によるプラズモイドの放出が繰り返されることで準周期性が発生するとする、内的要因によるメカニズムが先行研究 (Kronberg et al., JGR, 2007; Woch et al., GRL, 1998 等) で提唱されている。

この現象の物理過程を理解することは木星の大規模な磁気圏活動のダイナミクスを知る上で重要である。しかし、観測時期によって周期が異なっていたり、現象そのものが観測されない期間があるなどの特徴を持つ substorm-like event が、どのような要因でコントロールされているのか、その観測的な究明は未だなされていない。

本研究では Galileo に搭載された観測機器のうち、プラズマ波動観測機 (PWS)、高エネルギー粒子観測機 (EPD) および磁場観測 (MAG) のデータを用いた解析を行い、現象をコントロールする内的要因の候補として磁気圏尾部のプラズマシート内のプラズマ密度に着目し、現象の発生頻度との関係を明らかにすることを目的とした。

PWS で得られたプラズマ周波数から電子密度を、また、EPD で得られたフラックスから速度分布関数の 0 次のモーメントを用いて各イオンの高エネルギー成分の密度を求めた。この結果、Vogt らにより示された南北方向の磁場変動から導出した substorm-like event の頻度 (Vogt et al., JGR, 2010) と電子密度の長期的な変化にある程度の相関が見られた。また、頻度が高い時期には高エネルギーの硫黄イオン密度が大きい傾向も確認され、イオ起源のプラズマの供給量が変化することで現象の発生頻度がコントロールされるという、内的駆動メカニズムを支持する結果が示された。

キーワード: 木星, 木星磁気圏, 磁気圏ダイナミクス, サブストーム, プラズマ密度, Galileo

Keywords: Jupiter, Jovian magnetosphere, magnetospheric dynamics, substorm, plasma density, Galileo

## 木星イオ関連電波放射の発生過程の再考 Reconsideration of generation processes of Jupiter's Io-related radio emission

三澤 浩昭<sup>1\*</sup>

MISAWA, Hiroaki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東北大学惑星プラズマ・大気研究センター

<sup>1</sup>PPARC, Tohoku Univ.

The following questions; 'What kind of magneto-ionic wave Jupiter's auroral radio emission is?' and 'How the radio emission is generated?' have been long years of subjects. I have investigated the subjects based on numerical calculations using several kinds of magnetic field and plasma density models, however, the questions have not been resolved yet: a hypothesis of a special energy transporter which does not meet with the observation results was needed. Recently Jupiter's new magnetic field model 'VIPAL' was proposed based on the satellites' foot print aurora data observed by the Hubble Space Telescope (Hess et al., JGR, 2011). I have tried to make a 3D raytracing analysis for Io-DAM using the VIPAL model. The preliminary analyses show that R-X mode waves are preferable as Io-DAM and the VIPAL gives more natural explanations for the origin of Io-DAM, though there still remain some questions on restriction of 'Io-DAM' and on origin of Io-C.

キーワード: 木星, イオ, デカメートル電波, 発生過程, 磁場モデル

Keywords: Jupiter, Io, decametric radiation, generation process, magnetic field model

## ソフトウェア無線の導入による福井工業大学 HF 帯電波観測システムの拡張に関する現状報告

### Extension of HF radio observation system in Fukui University of Technology through the introduction of GnuRadio

中城 智之<sup>1\*</sup>, 青山 隆司<sup>1</sup>

NAKAJO, Tomoyuki<sup>1\*</sup>, AOYAMA, Takashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 福井工業大学電気電子情報工学科

<sup>1</sup>Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering, Fukui University of Technology

In Fukui University of Technology, radio observations in HF band (20-40MHz) have been carried out from 2000 for Jovian decameter radiation and Solar radio bursts. At the observation site which is located at Awara campus (N36deg., E136deg.), 3 antenna towers height of 20m was set up and 9-elements cross log-periodic antenna was mounted at the top of each tower. The observation system has worked as 3 short baseline interferometer system with a baseline length of 100m class.

In Fukui University of Technology, "Formation of research centers involved in the measurement and conservation of the environment in Hokuriku region" project has been started from 2011 with the support of MEXT. In the project, we are planning to take advantage of the radio observation system in Awara campus for observation and monitoring of lightning or thunder storm activity. Therefore, we are currently developing a high-performance receiving system by introducing software-defined radio (SDR) GnuRadio+UHD into our observation system in order to realize wideband waveform observation.

GnuRadio+UHD is an open software package which consists of a lot of signal processing blocks written by C++. A user can produce one's own receiving system by combining of a user-made program using the signal processing blocks and a digital receiver. Currently, we are investigating the performance of GnuRadio+UHD with USRP2 (Universal Software-defined Radio Peripheral) supplied by Ettus Research Co. Ltd. as a digital receiver. As the result of performance test carried out so far, it has been clarified that this system has characteristics of (i) wideband (1-250MHz), (ii) high sampling rate (25MHz), (iii) wide dynamic range (90dB) and (iv) high phase stability. We conclude that this SDR system has a good performance as a receiver for interferometer system and are scheduled to advance the development of new observing system by using GnuRadio+UHD.

キーワード: ソフトウェア無線, GnuRadio, USRP, 電波観測

Keywords: software-defined radio, GnuRadio, USRP, radio observation

## 木星赤外 H3+オーロラの発光分布・変動の平均的特性：紫外オーロラとの比較 Averaged characteristics of flux distributions and variations in Jovian infrared H3+ aurora: Comparison with UV's

野口 恵理子<sup>1\*</sup>, 坂野井健<sup>2</sup>, 笠羽康正<sup>1</sup>, 宇野健<sup>1</sup>, 北見拓也<sup>1</sup>, 埜千尋<sup>3</sup>, 佐藤毅彦<sup>3</sup>

NOGUCHI, Eriko<sup>1\*</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>2</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>1</sup>, Takeru Uno<sup>1</sup>, Takuya Kitami<sup>1</sup>, Chihiro Tao<sup>3</sup>, Takehiko Satoh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大・理・惑星大気物理学分野, <sup>2</sup> 東北大・理・惑星プラズマ大気, <sup>3</sup> ISAS/JAXA

<sup>1</sup> Planetary Atmosphere Physics lab., Dept. of Geophysics, Tohoku Univ., <sup>2</sup> Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ., <sup>3</sup> ISAS/JAXA

本研究は、1995-2004年に Satoh et al. によって NASA/IRTF 望遠鏡で取得された木星赤外 H3+オーロラ長期撮像データを用いるもので、赤外線オーロラの平均的な発光分布・変動、および発光領域毎の強度変動の描像の提示を目的としている。Hubble Space Telescope (HST) で観測される Ly $\alpha$  で発光する紫外線オーロラでは、同様の観測データがより高空間分解能・短時間間隔で得られている。そこで取られてきた解析手法を援用展開し、赤外線オーロラと紫外線オーロラとの特徴比較を可能とするため着手した。

木星オーロラは、対応する磁気圏側の領域の違いによって、その特性が異なることが報告されている。オーロラ領域の高緯度側は openflux 領域に対応しており、太陽風の影響を受けて短時間で変動しやすい。一方、メインオーバルはより内側へ対応しており、木星の高速自転をエネルギー源として発光するので、安定して発光していると考えられている。

紫外線オーロラは、降込み電子により直接 H, H<sub>2</sub> が電子遷移発光するため、降込み電子との時空間相関が直接的である。一方、赤外線オーロラは、降込み電子により生成した H<sub>2</sub><sup>+</sup> が H $\cdot$ ・H<sub>2</sub> と衝突して H<sub>3</sub><sup>+</sup> が生成されて発光する。このため熱圏温度が反映し、また発光に至る寿命が長いこともあり、紫外線オーロラとは発光分布・領域間変動の描像が異なる可能性もある。

紫外線オーロラでは、2ヶ月間の紫外線発光観測データからその平均的な発光分布の導出がなされている (Nichols et al., 2009)。磁気緯度に概ね従って極域を円環状に領域分割し、それぞれにおける発光強度の太陽風動圧応答および領域間相関を示している。本研究では、手法として Nichols et al. (2009) で定義された領域定義をそのまま援用し、紫外線オーロラで示された特性との比較を試みている。

データは、1995-2004年に得られた NASA/IRTF 搭載 NSFCAM、H3+オーロラ発光に合わせた中心波長 3.4265 $\mu$ m の狭帯域フィルターで撮像されており、平均的空間分解能は 1 arcsec 程度 (HST データは 0.1 arcsec 以下) だが、合計 57 日に渡っている。ここまでの解析では、数日に渡って太陽風動圧が低・高を保つ期間において、動圧と発光変動の比較を行っている。太陽風動圧変動は、地球近傍で観測された太陽風を磁気流体シミュレーションで木星軌道まで外挿したものを参照した。(A) 高緯度域だけでなくメインオーバルにおいても太陽風動圧との正の相関が若干有る ( $r=0.8$ )、(B) メインオーバル-高緯度域のオーロラ発光は紫外線オーロラ同様に正の相関を持つが、赤外のほうがより高緯度域が明るい、の2つの特徴が垣間見える。後者は土星でも見られているもので、高緯度域上空が断熱圧縮の影響でより高温であることと整合するものと考えられる。

又、メインオーバルにおいては、1999年7-11月の約4ヶ月間での平均放射パワー値が 334.1GW、変動範囲は 180.86GW-613.01GW となっている。

今後、全データに渡る解析を進めていくことになるが、(1) HST データと空間分解能が一桁劣る、(2) HST データとの同時観測データではない、(3) 太陽風推定の精度はそう高くない期間がある ( $\pm 5$  日)、(4) 木星磁気圏の応答時間に対して観測時間間隔が十分詰まっていない、の4点が潜在的に問題 (ただしこれまでの木星オーロラ観測において必然的に付きまとう共通問題) となってくる。本講演では、上記を踏まえた解析手法、および存在する全データを活かした暫定解析の報告を行いたい。

## 赤外観測用 InSb アレイセンサ駆動系の開発 Development of the InSb array sensor drive system for infrared observations

北見 拓也<sup>1</sup>, 坂野井 健<sup>1\*</sup>, 笠羽 康正<sup>1</sup>  
KITAMI, Takuya<sup>1</sup>, SAKANOI, Takeshi<sup>1\*</sup>, KASABA, Yasumasa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

<sup>1</sup>Dep. Geophysics Graduate School of Science Tohoku University

Jupiter is a biggest planet in the solar system. There are the aurora phenomena in UV, Visible and IR range that reflected magnetosphere activity. Especially, in  $H_2$   $H_3^+$  NIR aurora, ground based observation is possible because earth atmosphere transmissivity is high. So  $H_2$   $H_3^+$  aurora are suitable for long-term observation.

However, the number of the devices is limited by difficulty of the development of the infrared measurement, and it is difficult to observe long-term continuation from a problem to large-sized telescope machine time. The development of the infrared imaging camera is carried out in Takahashi (2005) so far in Tohoku University, and the development of the infrared echelle spectrum device is carried out in Uno (2009).

However, the problem that a count level of the output image did not change into even if I changed an exposure occurred because it was defective in infrared sensor (InSb sensor) drive system. Radical new development InSb sensor drive used for these devices was started in the Kobuna (2008). It is the joint development with the Tohoku University astronomy specialty Professor Takashi Ichikawa classroom, and the design of the analog circuit is performed in an astronomy classroom, and this development examined digital circuit pro-development and synthesis movement in Kobuna (2008),but does not reach the completion.

It is expected what is utilized as drive system of the infrared imaging device which I produced in Takahashi (2005) and the infrared echelle spectroscopy that development was carried out in Uno (2009). The InSb sensor drive system can contribute to continuation observation for a long term of the planetary atmosphere including Jovian IR aurora.

## ハワイ・ハレアカラ山頂への惑星専用望遠鏡設置計画：VIII Development of a New Telescope Dedicated to Observation of Planets at Haleakala, Hawaii : VIII

岡野 章一<sup>1\*</sup>, 鍵谷 将人<sup>2</sup>, 笠羽 康正<sup>2</sup>, 坂野井 健<sup>2</sup>, 小原 隆博<sup>2</sup>, Isabelle Scholl<sup>3</sup>, Jeffrey Kuhn<sup>3</sup>  
OKANO, Shoichi<sup>1\*</sup>, KAGITANI, Masato<sup>2</sup>, KASABA, Yasumasa<sup>2</sup>, SAKANNOI, Takeshi<sup>2</sup>, OBARA, Takahiro<sup>2</sup>, Isabelle Scholl<sup>3</sup>,  
Jeffrey Kuhn<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大・理・地球物理, <sup>2</sup> 東北大・理・惑星大気プラズマ研究センター, <sup>3</sup> ハワイ大・天文学研究所

<sup>1</sup>Dep. Geophysics, Tohoku Univ., <sup>2</sup>PPARC, Tohoku Univ., <sup>3</sup>IfA, Univ. Hawaii

We are constructing a 1.8m new telescope at the summit of Mt. Haleakala, Maui, Hawaii. It is under the collaboration with the Institute for Astronomy (IfA), University of Hawaii. In 2011, the fabrication of the primary mirror has been done. And plans of development timeline, facilities required for the development, telescope mechanical structure, and the dome were made. In 2012, we will start actual development along the timeline, and go into the most key phase in the development. The first light will be, if everything goes well, in 2014.

Clear sky and good seeing condition are definitely important for any ground-based observations. The summit of Mt. Haleakala in Maui, Hawaii is not the highest place (elv. 3050m), but one of the best sites with clear skies, good seeing, low humidity conditions, and good accessibility for us. At the Haleakala High Altitude Observatory at the summit, our group has been operating a 40cm Schmidt-Cassegrain telescope, and we have so far observed faint atmospheric and plasma features around bright planets, Io plasma torus, Mercury and Lunar sodium tail, and so on. Atmospheric escapes from Mars and Venus, the exoplanets close to mother stars are also possible topics. However, when we try to observe those faint emissions surrounding the bright objects, intense scattered light is always the most serious problem.

The new project, called PLANETS (Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra Terrestrial Planets), is dedicated to the observation of solar system planets and exoplanets. It consists of an off-axis primary mirror with a diameter of 1.8m, and Gregorian optics on an equatorial mount. State-of-the-art adaptive optics and masking technologies will be adopted to eliminate the scattering light. Based on these designs, it can avoid diffractions due to a spider structure that holds a secondary mirror and to minimize the scattered light from mirror surfaces as far as possible. In addition, the telescope optics will have a ultra-smooth mirror surface, the roughness of less than  $1/20$  lambda, with a new polish technology called HyDra, a water jet polishing technology developed by a group at Univ. Nac. Aut. de Mexico (UNAM). (This project is also a test for this new technology applied to off-axis mirrors.) Since a telescope completely optimized to a wide dynamic range does not exist yet, it can provide us a unique facility for spectroscopic and polarimetric observations of faint environments around the bright bodies, like planetary environments, stellar disks, etc.

This project is based on the collaboration among PPARC / Tohoku Univ., IfA / Univ. Hawaii (USA), Kiepenheuer Inst. Sonnenphysik (Germany), UNAM (Mexico), Univ. Turku (Finland), Harlingen Center for Innovative Optics (Canada), Stan Truitt (USA), Craig Breckenridge (Canada), and other collaborators. In 2011 March, after the Earthquake, the primary mirror glass blank completed in Japan was shipped to US, and now in the generating process. We also established the team structure, development timeline, and facilities required for the development. The main development will be at ATRC (Advanced Technology Research Center) of IfA in Maui. In 2012, all designs of the telescope mechanical structure and the domes will be finalized, and construction of development facility and structures will actually be started.

For promoting the project, Dr. Kagitani has been staying in Maui in 2011FY, and is contributing to the optical fiber Echelle spectrograph developments at ATRC. From June 2012, Prof. Okano will also be staying at ATRC/IfA. Associated with such residence, we are also preparing to move a 60cm telescope of Tohoku Univ. to the summit. In the paper, we summarize the overview of our drastic steps toward this future expected in this year.

キーワード: PLANETS, 望遠鏡計画, 光・赤外, 惑星観測

Keywords: PLANETS, telescope project, optical and infrared, planetary observations